

## Beschreibung

## Verfahren und Vorrichtung zum Verbrennen von Brennstoff

- 5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Verbrennung von Brennstoff in einer Brennkammer.

Das klassische Verfahren zur Umwandlung von Brennstoffenergie in Wärme ist die Oxidation bzw. Verbrennung von flüssigem o-  
10 der gasförmigem Brennstoff mit einem Oxidationsmittel wie beispielsweise Luftsauerstoff. Bei heutigen, hochbelasteten Verbrennungssystemen besteht ganz allgemein das Problem, dass diese für sehr niedrige Emissionen, insbesondere niedrige NOx-Emissionen auszulegen sind. Die Verbrennungssysteme sol-  
15 len im gesamten Betriebsbereich eine stabile und vollständige Verbrennung ermöglichen und dabei vergleichsweise wartungsarm und kostengünstig arbeiten. Um dieses Problem ansatzweise zu lösen, sind Verbrennungssysteme bekannt, die in drei Gruppen unterteilt werden:

20

Sogenannte Standard Low-NOx Systeme sind mit einer Vormischung von Brennstoff und Brennluft vor einem Eintritt in eine Brennkammer versehen. Innerhalb der Brennkammer wird nachfolgend eine sich ausbildende Flamme stabilisiert und die O-  
25 xidationsreaktion dadurch gesteuert. Aufgrund von verbleibenden Ungemischtheiten treten innerhalb der Brennkammer lokal hohe Temperaturen auf, die zu einer unerwünscht hohen NOx-Emission führen können. Daher wird bei Standard Low-NOx Systemen die Flamme in der Regel primär aerodynamisch stabilisiert, wodurch heiße Verbrennungsgase rezirkuliert werden,  
30 damit sie mit dem in die Brennkammer eintretenden Gemisch aus Brennstoff und Brennluft reagieren. Die aerodynamische Stabilisierung wird durch den Einsatz von heißen Stützflammen unterstützt (sogenannte Pilotierung), die zu einer weiteren Inhomogenisierung der Temperaturverteilung in der Brennkammer  
35 führen können. Eine solche inhomogene Temperaturverteilung kann eine zusätzliche Quelle für das Entstehen von Stickoxi-

den sein. Es ist daher üblich, dass bei Standard Low-NOx Systemen die primär entstandenen NOx-Emissionen durch eine katalytische Abgasreinigung abgesenkt werden.

- 5 Der Einsatzbereich von katalytischen Verbrennungssystemen ist zur Zeit begrenzt, sodass beispielsweise für Hochtemperatur-Verbrennungssysteme, wie z.B. stationäre Gasturbinen modernster Bauart, keine katalytische Verbrennungen verwendet werden können. Nur in kleineren stationären Gasturbinen werden katalytische Verbrennungssysteme bereits eingesetzt.

Für industrielle Verbrennungssysteme sind sogenannte Flameless Oxidation Burner bekannt, wie sie beispielsweise in EP 0 463 218 B1 beschrieben sind. Bei diesen Verbrennungssystemen wird Brennluft mit Hilfe des Abgases vorgewärmt und in einem radialen Randbereich einer Brennkammer mit hohem Impuls zugeführt. Im Zentrum der Brennkammer wird separat ein Brenngas eingedüst. Die vorgewärmte Brennluft mischt sich im Randbereich der Brennkammer mit rezirkulierendem Abgas und innen mit dem separat zugeführten Brenngas.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Verbrennen von Brennstoff in einer Brennkammer insbesondere für Gasturbinen zu schaffen, bei denen eine stabile und vollständige Verbrennung sowie deutlich reduzierte NOx-Emissionen erreicht werden.

Die Aufgabe ist erfindungsgemäß mit einem Verfahren zum Verbrennen von Brennstoff in einer Brennkammer gelöst, bei dem Brennstoff und Brennluft vor einem Eintritt in die Brennkammer unter Vermeidung von Selbstzündung gemischt werden, ein erster Teil des Gemisches derart in die Brennkammer eingebracht wird, dass er in der Brennkammer zirkuliert, in die Zirkulationsströmung des ersten Teils des Gemisches weiterer Brennstoff zugeführt wird, bis eine Aufwärmung auf Zündbedingungen gewährleistet wäre, und mindestens ein zweiter Teil des Gemisches derart in die Brennkammer eingebracht wird,

dass er sich mit einem aus der Zirkulationsströmung abströmenden, heißen Brenngas mischt, sich erwärmt und bis zu seinem Austritt aus der Brennkammer verbrennt. Die Aufgabe ist ferner mit einer Vorrichtung zum Verbrennen von Brennstoff in  
5 einer Brennkammer gelöst, mit einer Mischeinrichtung zum Mischen von Brennstoff und Brennluft vor einem Eintritt in die Brennkammer unter Vermeidung von Selbstzündung, einer ersten Gemisch-Einleiteinrichtung zum Einbringen eines ersten Teils des Gemisches in die Brennkammer, derart dass der erste Teil  
10 des Gemisches in der Brennkammer zirkuliert, einer Brennstoff-Einleiteinrichtung zum Zuführen von weiterem Brennstoff in die Zirkulationsströmung des ersten Teils des Gemisches, bis eine Aufwärmung auf Zündbedingungen gewährleistet wäre, und mindestens einer zweiten Gemischeinleiteinrichtung zum  
15 Einbringen mindestens eines zweiten Teils des Gemisches in die Brennkammer, derart, dass der mindestens eine zweite Teil des Gemisches sich mit einem aus der Zirkulationsströmung abströmenden, heißen Brenngas mischt, sich erwärmt und bis zu seinem Austritt aus der Brennkammer verbrennt.

20 Erfindungsgemäß wird eine erste Menge Brennstoff (z.B. ein Brenngas 1) mit Brennluft vor einem Eintritt in die Brennkammer unter Vermeidung von Selbstzündung vorgemischt. Bei der späteren Reaktion von Teilen dieses Gemisches liegt ein vergleichsweise tiefes Temperaturniveau vor, welches niedriger  
25 als das mittlere Temperaturniveau von vergleichbaren Verbrennungsreaktionen ist. Die Verbrennung dieses Teils des Gemisches führt daher zu einer verhältnismäßig geringen NOx-Bildung. Das Gemisch aus Brennstoff und Brennluft wird erfindungsgemäß derart in die Brennkammer eingeleitet, dass ein  
30 erster Teil des Gemisches in einem Rezirkulationswirbel zirkuliert und mindestens ein zweiter Teil des Gemisches sich mit dem aus dem Wirbel abströmenden heißen Abgas bzw. Brenngas mischt. Durch die Vermischung mit dem heißen Abgas wird  
35 dieser Teil des Gemisches in ausreichender Form erwärmt und bis zum Brennkammer-Austritt verbrannt. Eine separate Pilotierung in konventioneller Form wird erfindungsgemäß hingegen

vermieden und auf aerodynamische Stabilisierungsmaßnahmen durch Drallerzeuger kann ebenfalls verzichtet werden.

Durch die erfindungsgemäße Zugabe des restlichen Brennstoffs  
5 in einer oder auch in mehreren weiteren Stufe(n) (z.B. Brenngas 2) in den Rezirkulationswirbel wird soviel Energie bereitgestellt, dass eine Aufwärmung des gesamten Luft-/Brennstoff-Gemisches auf Zündbedingungen gewährleistet wäre bzw. bis Zündbedingungen vorliegen. Der weitere Brennstoff  
10 wird erfindungsgemäß derart zugemischt, dass eine homogene Einmischung in das Brenngas bei niedrigem Temperaturniveau erfolgt. Auf diese Weise werden erfindungsgemäß Temperaturspitzen innerhalb der Brennkammer vermieden. Eine besonders geringe NOx-Bildung aus diesem Bereich des reagierenden  
15 Brenngasstroms ist die Folge.

Bei einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens werden der Brennstoff und die Brennluft vor einem Eintritt in die Brennkammer derart gemischt, dass das Ver-  
20 hältnis von Brennluft zu Brennstoff über dem mittleren Luft-/Brennstoff-Verhältnis der Verbrennung in der Brennkammer liegt. Durch das erfindungsgemäß hohe Luft-/Brennstoff-Verhältnis wird ein vergleichsweise tiefes Temperaturniveau gewährleistet, wodurch die NOx-Bildung herabgesetzt wird.

25 Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann besonders vorteilhaft ausgestaltet sein, indem der erste und und/oder der zweite Teil des Gemisches (und/oder weitere Teile bei einer mehrstufigen Brennstoffzugabe) aus Brennstoff und Brennluft durch  
30 einen zentral in der Brennkammer angeordneten Körper eingebracht wird. In einem solchen zentralen Zuströmkörper sind die erste und/oder die zweite Gemisch-Einleiteinrichtung angeordnet. Die erfindungsgemäß angestrebte Zirkulationsströmung des ersten Teils des Gemisches und das Einleiten des  
35 zweiten Teils des Gemisches in abströmendes, heißes Brenngas kann dann strömungstechnisch verhältnismäßig einfach realisiert werden.

Ein zentraler Zuströmkörper für den ersten und/oder den zweiten Teil des Gemisches aus Brennstoff und Brennluft bietet ferner vorteilhaft die Möglichkeit, dass eine Einrichtung zum  
5 Einleiten von Flüssigbrennstoff in die Brennkammer integriert wird. Eine zentral angeordnete Gemisch-Einleiteinrichtung wird ferner durch das in ihr strömende Gemisch aus Brennstoff und Brennluft gekühlt, wodurch das Gemisch minimal erwärmt wird. Die Erwärmung hat eine weitere Homogenisierung des Tem-  
10 peraturniveaus innerhalb der erfindungsgemäßen Zirkulationsströmung zur Folge.

Die Zirkulationsströmung selbst wird erfindungsgemäß vorteilhaft in einem peripheren Bereich der Brennkammer, d.h. in einem  
15 radial äußeren Abschnitt der Brennkammer ausgebildet. Ein derart ausgebildeter Rezirkulationswirbel bildet vorteilhaft die Grundlage für eine möglichst homogene Einmischung von weiterem Brennstoff in die Brennkammer.

20 Darüber hinaus ist es erfindungsgemäß vorteilhaft, wenn die Brennkammer im Wesentlichen zylindrisch gestaltet ist und der erste Teil des Gemisches aus Brennstoff und Brennluft im Wesentlichen radial in die Brennkammer eingebracht wird. Durch das radiale Einbringen des ersten Teils des Gemisches wird  
25 die erfindungsgemäß angestrebte Zirkulationsströmung angeregt und aufrechterhalten. Alternativ kann eine Ringbrennkammer mit einer entsprechend gestalteten Brennstoffzuführung vorgesehen sein.

30 Im Gegensatz zu einer radialen Einbringung des ersten Teils des Gemisches aus Brennstoff und Brennluft wird der weitere Brennstoff vorteilhaft im Wesentlichen axial in die Brennkammer eingebracht. Eine solche Zugabe von restlichem Brennstoff (Brenngas 2) in den Rezirkulationswirbel, stellt die erforderliche Energiemenge bereit, damit die angestrebte Aufwär-  
35 mung des gesamten Luft-/Brennstoff-Gemisches auf Zündbedingungen gewährleistet würde. Ein weiterer Vorteil einer axia-

len Einbringung des weiteren Brennstoffs ist es, dass der zugeführte weitere Brennstoff zugleich auch zu einer Kühlung der Brennkammer-Stirnwand beiträgt und dadurch der weitere Brennstoff geringfügig vorgewärmt wird.

5

Um die erfindungsgemäße Vorrichtung und das damit ausgeführte Verfahren vergleichsweise einfach zu gestalten, wird der erste und der zweite Teil des Gemisches aus Brennstoff und Brennluft vorteilhaft als ein gemeinsamer Strom in die Brennkammer eingeleitet und erst innerhalb der Brennkammer aufgeteilt.

Beim Einbringen von einem oder beiden Teilen des Gemisches aus Brennstoff und Brennluft können vorteilhaft besonders angepasste Düsen verwendet werden, damit die jeweiligen Teile des Gemisches besonders gezielt und dosiert in die Zirkulationsströmung gelangen. Damit die erfindungsgemäße Zirkulationsströmung und die damit erzeugte Verbrennung stabil betrieben werden können, wird vorteilhaft in ihr pro Zeiteinheit etwa 5% bis 25%, insbesondere zwischen etwa 10% und 20%, der gesamten während einer Zeiteinheit zugeführten Brennstoff- und Brennluftmasse (Gesamtgasmasse) rezirkuliert.

Nachfolgend wird ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie der erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Verbrennen von Brennstoff in einer Brennkammer anhand der beigefügten schematischen Zeichnung näher erläutert. Es zeigt:

30 - Fig. 1 einen Längsschnitt eines Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Vorrichtung zum Verbrennen von Brennstoff in einer Brennkammer.

In Fig. 1 ist eine Vorrichtung 10 zum Verbrennen von Brennstoff in einer Brennkammer in Gestalt eines Brenners für eine stationäre Gasturbine dargestellt. Die Vorrichtung 10 weist als wesentliches Bauelement eine Brennkammer 12 auf, die im

Wesentlichen kreiszyindrisch längs einer Achse 14 ausgebildet ist. Die Brennkammer 12 ist mit einer, bezogen auf Fig. 1 oben dargestellten, ersten Stirnwand 16, einer sich davon ausgehend nach unten erstreckenden Außenwand 18 und einer, bezogen auf Fig.1 unten liegenden, zweiten Stirnwand 20 gebildet.

Die erste Stirnwand 16 ist von einem zentral angeordneten Körper 22 durchsetzt, der im Wesentlichen kreiszyindrisch ist und sich ebenfalls längs der Achse 14 erstreckt. Der Körper 22 ist mit einem Außenrohr 24 und einem darin konzentrisch angeordneten Innenrohr 26 gestaltet. Das Außenrohr 24 ist von radial nach außen gerichteten Düsen 28 durchsetzt, die sich bezogen auf Fig. 1 am unteren Endbereich des Außenrohres 24 befinden. Im übrigen ist das Außenrohr 24 an diesem Endbereich verschlossen.

An dem bezogen auf Fig. 1 oberen Ende des Außenrohres 24 ist eine weiter nicht näher veranschaulichte Luftzufuhr 30 und im Inneren des Außenrohres eine ebenfalls nicht genauer dargestellte Brenngaszufuhr 32 vorgesehen. Durch die Luftzufuhr 30 und die Brenngaszufuhr 32 wird Luft bzw. ein erstes Brenngas in das Außenrohr 24 zugeführt, in dem sich nachfolgend in Strömungsrichtung auf die Düsen 28 ein Gemisch 34 aus Brenngas und Brennluft bildet. Ein erster Teilstrom 36 dieses Gemisches 34 tritt aus einem Teil der Düsen 28 in die Umgebung des Außenrohres 24 und damit ins Innere der Brennkammer 12 aus. Ein zweiter Teilstrom 38 des Gemisches 34 tritt durch weitere Düsen 28' aus, die bezogen auf die oben genannten Düsen 28 des ersten Teilstroms 36 und bezogen auf Fig. 1 weiter unten an dem Außenrohr 24 angeordnet sind.

Das Außenrohr 24 ist im Wesentlichen von einem Rezirkulationsraum 40 umgeben, an den sich innerhalb der Brennkammer 12 ein weitere Brennraum 42 anschließt. Zwischen dem Rezirkulationsraum 40 und dem weiteren Brennraum 42 sind an der Innenseite der Außenwand 18 Strömungsleitflächen 44 angeordnet.

Mit Hilfe dieser Strömungsleitflächen 44 und der nachfolgend noch genauer erläuterten Einleitung des ersten Teilstroms 36 (sowie des zweiten Teilstroms 38) wird innerhalb des Rezirkulationsraums 40 eine Zirkulationsströmung 46 angeregt und stabilisiert, die ausgehend von den Düsen 28 zunächst radial nach außen gerichtet ist, nachfolgend in Richtung auf die erste Stirnwand 16 und radial nach innen entlang dieser gerichtet ist und schließlich von der ersten Stirnwand 16 wieder zu den Düsen 28 gelangt.

An der ersten Stirnwand 16 ist eine weitere, nicht näher veranschaulichte Brenngaszufuhr 48 vorgesehen. Durch diese weitere Brenngaszufuhr 48 gelangt weiteres Brenngas in die Zirkulationsströmung 46.

Aus der Zirkulationsströmung 46 tritt schließlich im Bereich vor den Düsen 28' abströmendes Brenngas 50 aus und gelangt durch den weiteren Brennraum 42 hindurch zu einem Austritt 52, der in der Stirnwand 20 als eine im Wesentlichen zentrale Öffnung ausgebildet ist. Bei einem nicht dargestellten Ausführungsbeispiel, bei dem die Brennkammer als Ringbrennkammer gestaltet ist, ist diese Öffnung kreisringförmig.

Während des Betriebs der Vorrichtung 10 wird durch das Außenrohr 24, die Luftzufuhr 30 und die Brenngaszufuhr 32 zu den Düsen 28 sowie 28' ein Gemisch 34 aus Brenngas und Brennluft zugeführt, bei dem das Verhältnis von Luft und Brenngas über dem mittleren Luft-/Brenngas-Verhältnis der späteren Verbrennung innerhalb der Brennkammer 12 liegt. Auf diese Weise ist eine Selbstzündung des Gemisches 34 vermieden.

Das Gemisch 34 wird als erster Teilstrom 36 und zweiter Teilstrom 38 im Wesentlichen radial in die Brennkammer 12 eingebracht. Dabei sind die Düsen 28 derart angeordnet und ausgeformt, dass der erste Teilstrom 36 im Wesentlichen in die Zirkulationsströmung 46 gelangt und damit innerhalb des Rezirkulationsraums einen Rezirkulationswirbel anregt. Durch



Zugabe von weiterem Brenngas durch die weitere Brenngaszufuhr 48 in einer im Wesentlichen axialen Richtung wird der Rezirkulationswirbel zusätzlich gestützt und derart viel Energie bereitgestellt, dass im Prinzip eine Aufwärmung des gesamten Gemisches auf Zündbedingungen gewährleistet ist.

An der weiteren Brenngaszufuhr 48 wird pro Zeiteinheit eine solche Gasmenge zugemischt, dass eine möglichst homogene Einmischung in den Rezirkulationswirbel erfolgt und Temperaturspitzen vermieden werden. Die Einmischung erfolgt bei einem vergleichsweise niedrigem Temperaturniveau, sodass zwar eine Reaktion des Brenngases mit der Brennluft stattfindet, diese Reaktion aber nur zu sehr geringen NO<sub>x</sub>-Emissionen führt. Die Brenngaszufuhr 48 trägt darüber hinaus zur Kühlung der ersten Stirnwand 16 der Brennkammer 12 bei.

Innerhalb einer stabilen Zirkulationsströmung 46 strömt pro Zeiteinheit zwischen etwa 10% und 20% der gesamten während einer Zeiteinheit zugeführten Brennluft- und Brenngasmasse. Diese Gesamtgasmasse wird im Rezirkulationswirbel vorgewärmt. Die dabei erzielte Verbrennung bzw. Reaktion des Gemisches erfolgt bei einer besonders homogenen Gasdurchmischung und einem vergleichsweise niedrigen Temperaturniveau unter Vermeidung von Temperaturspitzen. Auf eine separate Pilotierung in konventioneller Form oder auf aerodynamische Stabilisierungsmaßnahmen durch Drallerzeuger kann daher bei der Brennkammer 12 verzichtet werden. Ein weiterer Hauptvorteil der Brennkammer 12 und der daran ausgebildeten zweistufigen Zufuhr von Brenngas in den Rezirkulationsraum 40 ist, dass auf Katalysatoren verzichtet werden kann.

Der zweite Teilstrom 38 des Gemisches 34 und gegebenenfalls weitere Teilströme tritt/treten durch die beispielsweise als Röhrrchen ausgestalteten Düsen 28' unmittelbar in das abströmende Brenngas 50 ein oder kann bei einem nicht dargestellten Ausführungsbeispiel ganz oder teilweise ebenfalls rezirkulieren. Das abströmende Brenngas 50 ist vergleichsweise heiß,

sodass der zweite Teilstrom 38 in ausreichender Form erwärmt und ebenfalls bis zum Austritt 52 vollständig reagiert.

Abschließend sei angemerkt, dass der zentral angeordnete Körper 22 und das darin ausgebildete Innenrohr 26 die Möglichkeit einer Integration von Flüssigbrennstoffdüsen bietet, so dass die Vorrichtung 10 insgesamt als Zweibrennstoffsystem verwendet werden kann. Mit der Vorrichtung 10 kann also auch flüssiger Brennstoff auf vergleichsweise schadstoffarme Art und Weise oxidiert werden, was bei herkömmlichen Systemen mit Katalysatoren bisher nicht möglich ist.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Verbrennen von Brennstoff in einer Brennkammer (12), bei dem
  - 5 - Brennstoff und Brennluft vor einem Eintritt in die Brennkammer (12) unter Vermeidung von Selbstzündung gemischt werden,
  - ein erster Teil (36) des Gemisches (34) derart in die Brennkammer (12) eingebracht wird, dass er in der Brennkammer  
10 (12) zirkuliert,
  - in die Zirkulationsströmung (46) des ersten Teils (36) des Gemisches (34) weiterer Brennstoff zugeführt wird, bis eine Aufwärmung auf Zündbedingungen gewährleistet wäre, und
  - mindestens ein zweiter Teil (38) des Gemisches (34) derart  
15 in die Brennkammer (12) eingebracht wird, dass er sich mit einem aus der Zirkulationsströmung (46) abströmenden, heißen Brenngas (50) mischt, sich erwärmt und bis zu seinem Austritt aus der Brennkammer (12) verbrennt.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der Brennstoff und die Brennluft vor einem Eintritt in die Brennkammer (12) derart gemischt werden, dass das Verhältnis von Brennluft zu Brennstoff über dem mittleren Luft-/Brennstoff-  
25 Verhältnis der Verbrennung in der Brennkammer (12) liegt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass der erste und/oder der mindestens eine zweite Teil (36, 38) des Gemisches (34) aus Brennstoff und Brennluft durch einen zentral  
30 in der Brennkammer (12) angeordneten Körper (22) eingebracht wird.
4. Verfahren nach Anspruch 3,  
35 d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass als Brennstoff ein Brenngas zugeführt wird, und zusätzlich durch den

zentral angeordneten Körper (22) Flüssigbrennstoff zugeführt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4,  
5    d a d u r c h    g e k e n n z e i c h n e t, dass die Zirkulationsströmung (46) des ersten Teils (36) des Gemisches (34) aus Brennstoff und Brennluft in einem peripheren Bereich (40) der Brennkammer (12) ausgebildet wird.
- 10    6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,  
      d a d u r c h    g e k e n n z e i c h n e t, dass die Brennkammer (12) im Wesentlichen zylindrisch oder ringförmig gestaltet ist und der erste Teil (36) des Gemisches (34) aus Brennstoff und Brennluft im Wesentlichen radial in die Brennkammer (12) eingebracht wird.  
15
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,  
      d a d u r c h    g e k e n n z e i c h n e t, dass die Brennkammer (12) im Wesentlichen zylindrisch oder ringförmig gestaltet ist und der weitere Brennstoff (48) im Wesentlichen  
20    axial in die Brennkammer (12) eingebracht wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,  
      d a d u r c h    g e k e n n z e i c h n e t, dass die Brennkammer (12) im Wesentlichen zylindrisch gestaltet ist und der  
25    mindestens eine zweite Teil (38) des Gemisches (34) aus Brennstoff und Brennluft im Wesentlichen radial in die Brennkammer (12) eingebracht wird.
- 30    9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,  
      d a d u r c h    g e k e n n z e i c h n e t, dass der erste und der mindestens eine zweite Teil (36, 38) des Gemisches (34) aus Brennstoff und Brennluft als ein gemeinsamer Strom in die Brennkammer (12) eingeleitet werden, der innerhalb der  
35    Brennkammer (12) aufgeteilt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9,  
dadurch gekennzeichnet, dass der erste  
und/oder der mindestens eine zweite Teil (36, 38) des Gemis-  
ches (34) aus Brennstoff und Brennluft durch mindestens eine  
5 besonders angepasste Düse (28, 28') in die Zirkulationsströ-  
mung (46) sowie die Brennkammer (12) eingeleitet wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Zirku-  
10 lationsströmung (46) derart ausgebildet wird, dass pro Zeit-  
einheit in ihr zwischen etwa 5 % bis 25 %, insbesondere zwi-  
schen etwa 10 % und 20 %, der gesamten während einer Zeitein-  
heit zugeführten Gasmasse zirkuliert.

15 12. Vorrichtung (10) zum Verbrennen von Brennstoff in einer  
Brennkammer (12), insbesondere zum Durchführen des Verfahrens  
nach einem der Ansprüche 1 bis 11, mit  
- einer Mischeinrichtung (22) zum Mischen von Brennstoff und  
Brennluft vor einem Eintritt in die Brennkammer (12) unter  
20 Vermeidung von Selbstzündung,  
- einer ersten Gemisch-Einleiteinrichtung zum Einbringen ei-  
nes ersten Teils (36) des Gemisches (34) in die Brennkammer  
(12), derart, dass der erste Teil (36) des Gemisches (34) in  
der Brennkammer (12) zirkuliert,  
25 - einer Brennstoff-Einleiteinrichtung (48) zum Zuführen von  
weiterem Brennstoff in die Zirkulationsströmung (46) des ers-  
ten Teils (36) des Gemisches (34), bis Zündbedingungen vor-  
liegen, und  
- mindestens einer zweiten Gemisch-Einleiteinrichtung zum  
30 Einbringen mindestens eines zweiten Teils (38) des Gemisches  
(34) in die Brennkammer (12), derart, dass der mindestens ei-  
ne zweite Teil (38) des Gemisches (34) sich mit einem aus der  
Zirkulationsströmung (46) abströmenden, heißen Brenngas (50)  
mischt, sich erwärmt und bis zu seinem Austritt aus der  
35 Brennkammer (12) verbrennt.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die erste und/oder die mindestens eine zweite Gemisch-Einleiteinrichtung als ein zentral in der Brennkammer (12) angeordneter Körper (22) ausgestaltet ist.

5

14. Vorrichtung nach Anspruch 13,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die erste und/oder die mindestens eine zweite Gemisch-Einleiteinrichtung zum Einleiten von gasförmigem Brennstoff ausgebildet ist und zusätzlich in dem zentral angeordneten Körper (22) mindestens eine Einrichtung zum Einleiten von Flüssigbrennstoff vorgesehen ist.

10

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14,

15

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die erste Gemisch-Einleiteinrichtung und die Brennkammer (12) derart gestaltet sind, dass die Zirkulationsströmung (46) des ersten Teils (36) des Gemisches (34) aus Brennstoff und Brennluft in einem peripheren Bereich (40) der Brennkammer (12) entsteht.

20

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 15,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Brennkammer (12) im Wesentlichen zylindrisch oder ringförmig gestaltet ist und die erste Gemisch-Einleiteinrichtung derart gestaltet ist, dass sie den ersten Teil (36) des Gemisches (34) aus Brennstoff und Brennluft im Wesentlichen radial in die Brennkammer (12) einbringt.

25

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 16,

30

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Brennkammer (12) im Wesentlichen zylindrisch oder ringförmig gestaltet ist und die Brennstoff-Einleiteinrichtung (48) derart gestaltet ist, dass sie den weiteren Brennstoff im Wesentlichen axial in die Brennkammer (12) einbringt.

35

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 17,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Brennkammer (12) im Wesentlichen zylindrisch oder ringförmig gestaltet ist und die mindestens eine zweite Gemisch-Einleiteinrichtung derart gestaltet ist, dass sie den mindestens einen zweiten Teil (38) des Gemisches (34) aus Brennstoff und Brennluft im Wesentlichen radial in die Brennkammer (12) einbringt.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 18,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die erste und die mindestens eine zweite Gemisch-Einleiteinrichtung derart ausgebildet sind, dass sie den ersten und den mindestens einen zweiten Teil (36, 38) des Gemisches (34) aus Brennstoff und Brennluft als einen gemeinsamen Strom in die Brennkammer (12) einleiten.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 19,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die erste und/oder mindestens eine zweite Gemisch-Einleiteinrichtung mindestens eine besonders angepasste Düse (28, 28') zum Einleiten von Brennstoff in die Zirkulationsströmung (46) sowie die Brennkammer (12) aufweisen.

21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 20,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, dass die Brennkammer (12) sowie die erste und die mindestens eine zweite Gemisch-Einleiteinrichtung derart ausgebildet sind, dass in der Zirkulationsströmung (46) pro Zeiteinheit zwischen etwa 5 % bis 25 %, insbesondere zwischen etwa 10 % und 20 %, der gesamten während einer Zeiteinheit zugeführten Gasmasse zirkuliert.

1/1

